

令和元年6月17日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06051

研究課題名(和文)自動車用小型・高速回転メイン駆動モータの風損低減機構の開発

研究課題名(英文) Development of reduction system of windage power loss for high-speed small main motors used in motor vehicles

研究代表者

吉本 成香 (Yoshimoto, Shigeka)

東京理科大学・工学部機械工学科・教授

研究者番号：80096718

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、減圧機能を有する非接触シール機構(スパイラル溝粘性ポンプと動圧軸受を組み合わせた非接触粘性ポンプ)で、モータ回転子の周囲圧力を減圧することによる風損低減法を提案した。そしてまずハウジング内に設置する減圧機構を用いてその有効性を検証し、15,000 rpmの回転数にて0.3気圧程度の減圧が可能であることを示した。さらに、従来の研究で提案した構造を発展させ、減圧機能を有する非接触シール機構をモータ外部に設置可能な新規構造を提案し、その減圧特性について検討を行った。結果として回転数25,000 rpm、シールすきま16 μmにおいて0.3気圧以上の減圧を確認し、その有効性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、自動車用駆動モータの高速回転における風損を低減する手法を提案し、数値的、実験的に、風損低減機構の性能を確認した。結果として提案した風損低減機構は、高速回転モータの風損を低減し省エネルギー化を図る上で有効な技術であることを明らかとなり、その社会的意義は大きいものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this study, the reduction system of windage power loss used for a main motor of electric vehicles was proposed which could reduce the surrounding pressure of a motor rotor. It was confirmed that the proposed system installed in a motor housing could achieve the pressure reduction of 0.03 MPa at speed of 15,000 rpm. In addition, the authors developed newly designed reduction system of windage power loss which could be installed outside of a motor housing. As a result, it was found that the new system could reduce the pressure over 0.03 MPa at speed of 25,000 rpm and the seal clearance of 16 μm.

研究分野：精密工学、流体潤滑システム、トライボロジー

キーワード：高速回転モータ 風損 真空 粘性ポンプ 動圧空気軸受 非接触

1. 研究開始当初の背景

近年、高出力モータなど様々な回転機器において高速回転化が進んでいる。しかし回転数の増加に伴い、回転軸の外周部に複雑な形状を有する場合には、空気抵抗は著しく増加し問題となっている。回転機器における空気抵抗低減の方法としては回転軸を囲むハウジング内を密閉空間とし、その中の空気を減圧、もしくはヘリウム空気混合ガスに置換する手法等が提案されている

[1, 2]。しかしヘリウムガスを長年にわたってハウジング内に保持することは難しく、ヘリウムガスの再充填が必要であり煩雑な作業を必要とする状況にある。また密閉したハウジングに真空ポンプを接続し、ハウジング内を減圧する方法も提案されているが、この方法では軸シールを用いることによって容器内の減圧は可能であるが、メンテナンス性、真空ポンプを設置するスペースが必要である等の欠点を有している。

一方で、次世代ハイブリッド自動車や電気自動車の駆動用モータとして SR モータ (Switched Reluctance Motor) が注目されている。この SR モータは、図 1 に示すように回転子、コイルと制御装

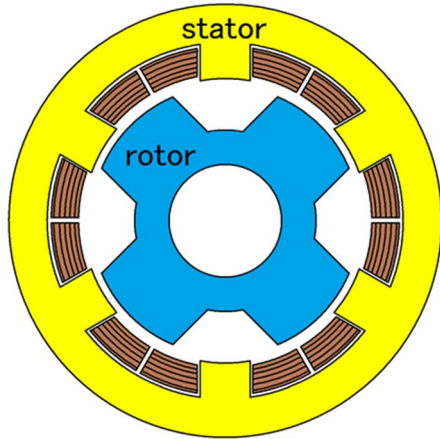


図 1 SR モータの概略図

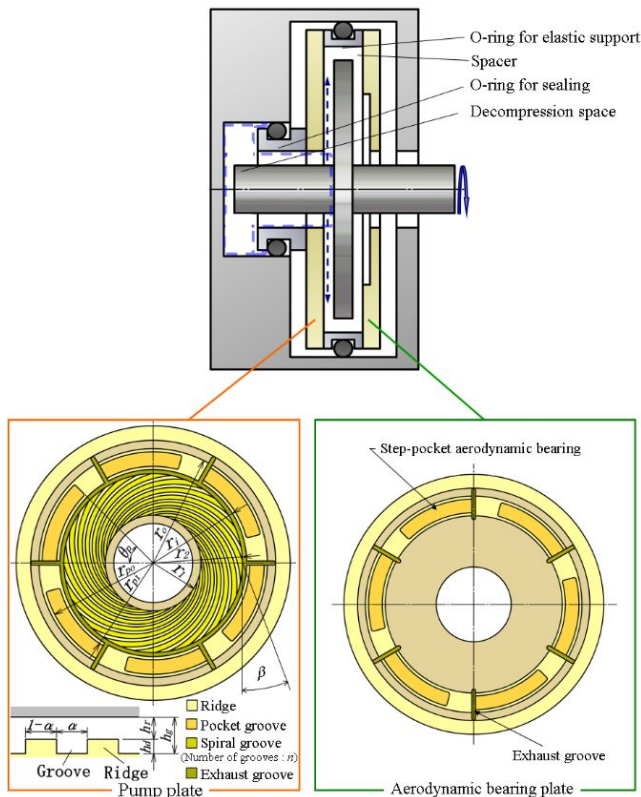


図 2 粘性ポンプと動圧軸受を組み合わせた減圧機構

置によって構成され、磁石を必要としないため、レアアースの入手性や価格高騰のリスクが生じないという特徴を持つ。SR モータは突起の付いた複数形状の回転子を用いる必要があるため、モータの小型・高出力化に際して、風損や風切音の増加がする。よってその抑制が問題となっている。そこで本研究では、図 2 に示すように、減圧機能を有する非接触シール機構(スパイラル溝粘性ポンプと動圧軸受を組み合わせた非接触粘性ポンプ)を用いてモータ回転子の周囲圧力を減圧することによる風損低減法を提案した。

2. 研究の目的

本研究ではスパイラル溝粘性真空ポンプ円板に動圧軸受を組み合わせ、それ

を弾性的に支持することによってすきま調節機能を持たせ、さらに取り付け取り外し可能な機構を提案した。そして提案した機構を用いることにより密閉空間内圧力の減圧が可能であることを実験的に示すとともに、提案した機構のポンピング性能について数値的検討を行い、設計する上での指針を得ることを本研究の目的とした。

3. 研究の方法

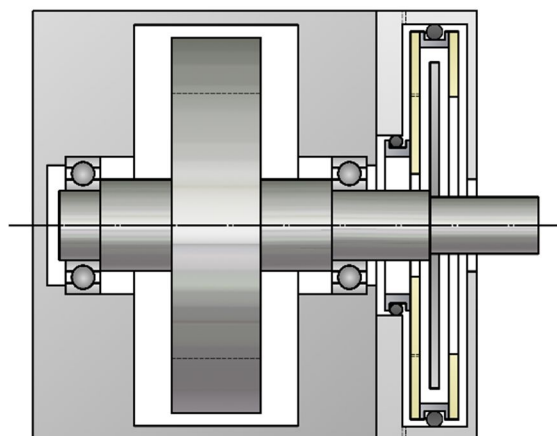


図3 減圧機構を設置した実験装置

本研究では、スパイラル溝粘性ポンプの最終到達圧力と圧力の過渡特性を求めめるためにすきま内の圧力をDF法により求めた。このとき、スパイラル溝に沿った境界適合座標系を用いた。また、容器内圧力を低下させた場合、空気の分子平均自由行程（スリップ流）の影響が大きくなると考えられる。そこでBurgdorferが提案した一次のスリップ流を考慮した修正レイノルズ方程式を用いて計算を行った。また減圧機構を設置した回転機構のハウジング内圧力を測定するために、図3に示すような実験装置を設計し減圧機構の有

効性の確認を行った。

4. 研究成果

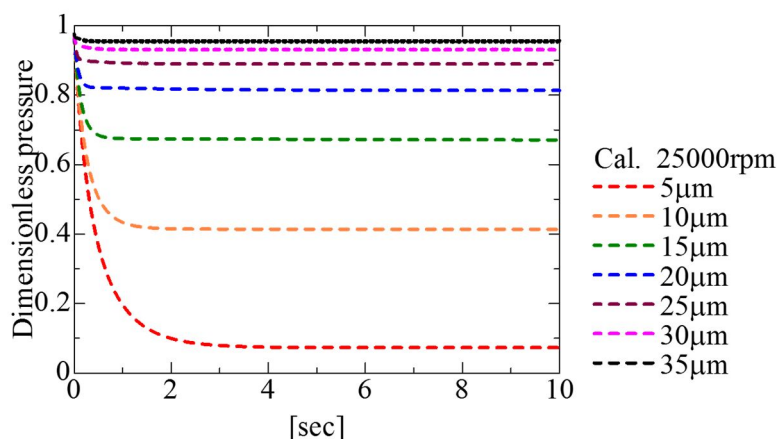


図4 経過時間とハウジング内圧力の関係

本研究では、提案した減圧機構の性能を、数値的、実験的に明らかにすることにより、その有効性の検証を行った。図4には、回転数を25,000rpmとした場合のハウジング内圧力の減圧状況と経過時間の関係を示した。

シールすきまを15μm以下に設定すること

により、ハウジング内圧力を2s以内に約0.03MPa減圧できることを、数値的に明らかにすることができた。図5には、シールすきまを16μmとした場合のハウジング内の減圧課程を実験結果と計算結果を比較して示した。両者は定量的にもよく一致することが示され、これにより高

速回転モータの風損を低減するために提案する減圧機構を有効に活用できることを明らかにすることができた。

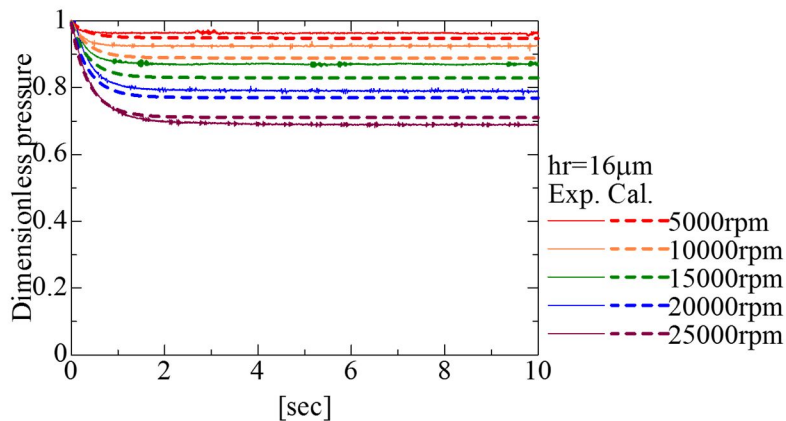


図 5 実験結果と計算結果の比較

< 引用文献 >

- [1] Ajisman, Kobuch J., Oobayash K.i, and Shimada R., Windage loss reduction of flywheel/generator system using He and SF6 gas mixtures. Energy Conversion Engineering Conference, 1997. IECEC-97, Proceedings of the 32nd Intersociety
- [2] Werst M. D., Hahne J. J., Liu H. P., and Penney C. E., Design and testing of a high speed spin test for evaluating pulse alternator windage loss effects. The 11th Electromagnetic Launch Technology Symposium, Saint-Louis, France, May 14–17, 2002
- [3] Werfel F. N., Floegel-Delor U., Riedel T., Rothfeld R., Wippich D., Goebel B., Reiner G., and Wehlau N., A compact HTS 5 kWh/250 kW flywheel energy storage system. IEEE Trans. App. Supercond. 17(2), 2007, 2138–2141

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

- 1. F. Asami, M. Miyatake, S. Yoshimoto, E. Tanaka, T. Yamauchi, A method of reducing windage power loss of a high-Speed motor using a viscous vacuum pump, PRECISION ENGINEERING, 査読有, 48 (2017) pp. 60-66

〔学会発表〕(計 3 件)

- 1. J. Horiike, D. Sato, S. Kawada, M. Miyatake, S. Yoshimoto, A Method of Reducing Windage Power Loss of a High-Speed Motor Using a Viscous Vacuum Pump, The 8th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology (ICMDT2019)
- 2. 堀池純平、川田将平、宮武正明、吉本成香, 粘性真空ポンプを用いた高速回転モータの風損

低減方法に関する研究, トライボロジー会議 2018 秋 伊勢

3. J HORIIKE, M. MIYATAKE, S. YOSHIMOTO, A method of reducing windage power loss of a high-speed motor using a viscous vacuum pump, The 6th World Tribology Congress, WTC2017 China Beijing

〔産業財産権〕

取得状況(計1件)

名称: 回転機構

発明者: 田中栄太郎 吉本成香 宮武正明 浅見文哉

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特許第 6372275 号

取得年: 平成 30 年 7 月 27 日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 宮武 正明

ローマ字氏名: (MIYATAKE masaaki)

所属研究機関名: 東京理科大学

部局名: 工学部機械工学科

職名: 准教授

研究者番号(8桁): 70434032

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。